

УДК 532.72 : 533.15 : 697

Н.Д.АНДРИЙЧУК, канд. техн. наук, В.И.СОКОЛОВ, д-р техн. наук,  
С.В.ПОДЛЕСНАЯ*Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, г.Луганск***МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ  
СИСТЕМ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК**

Рассматриваются математические модели элементов и устройств вентиляционных систем теплогенерирующих установок. Приведена методика моделирования стационарных режимов их работы.

Важную роль в решении задачи улучшения условий труда, обеспечения требуемых санитарно-гигиенических норм для обслуживающего персонала теплогенерирующих установок (ТГУ) систем теплоснабжения [1-4] играют такие инженерно-технические средства, как вентиляция и кондиционирование воздуха. Системы вентиляции современных ТГУ представляют собой сложные инженерные сооружения и требуют для своего создания больших материальных затрат. Кроме того, доля расходов на их функционирование может составлять до 50% от общих затрат на эксплуатацию объекта.

Вентиляционные системы ТГУ осуществляют выброс в атмосферу вредных для здоровья человека и окружающей природной среды отходов производственной деятельности. Поэтому от достоверности результатов контроля параметров выбросов во многом зависит как здоровье человека, так и экологическая ситуация. Правильный прогноз состава и объема выбросов позволяет рационально решать вопросы проведения ремонтно-восстановительных и профилактических работ, плановых мероприятий по модернизации вентиляционных систем и коррекции технологических процессов, анализировать и предотвращать возможные аварийные ситуации, разрабатывать программы повышения экологической безопасности и т.д. Известные подходы и методы [1-2] не позволяют в полном объеме решать эти задачи.

Схема типичной отопительной котельной установки с водогрейными котлами 1, оборудованными горелками и форсунками 3, приведена на рисунке. Воздух для горения подается в топку дутьевыми вентиляторами 4. На каждом котле установлено 12 горелок и столько же вентиляторов. Вода в котел подается насосами 5. Дымовые газы из котла удаляются в атмосферу через трубу 2.

Для моделирования стационарных режимов работы произвольных систем вентиляции ТГУ предлагается методика декомпозиции системы (ее расчленение) на типовые расчетные и структурные элементы. Под расчетным элементом системы подразумевается одно из уст-

роЙств реальной системы. Понятие элемента системы является относительным, так как под ним может подразумеваться и совокупность нескольких простых устройств.

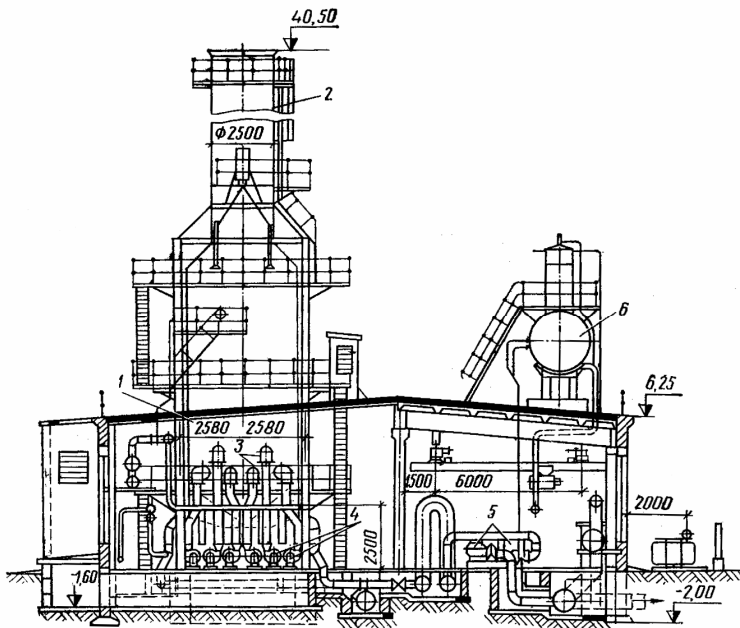


Схема отопительной котельной установки

По конструктивным и технологическим принципам в каждой вентиляционной системе могут быть выделены следующие расчетные элементы: источники напора или нагнетатели (вентиляторы, воздуходувки, дымососы, компрессоры и т.д.); конструктивные участки магистралей, по которым осуществляется движение газовой среды; напорно-регулирующие устройства (задвижки, местные сопротивления и т.д.); технологические устройства, осуществляющие выброс или отбор рабочей среды из системы (например, канал выброса в атмосферу).

Моделью источника напора примем зависимость между полным давлением  $p_v$ , развиваемым нагнетателем, и расходом  $Q$

$$p_v = f_l(Q). \quad (1)$$

Характеристики нагнетателей в зоне рабочих режимов достаточно точно описываются параболой, которую по результатам паспортных данных или стендовых испытаний будем аппроксимировать в виде

трехчлена

$$p_v = a + bQ + cQ^2, \quad (2)$$

где  $a, b, c$  – постоянные для данного вентилятора опытные коэффициенты.

В качестве расчетной модели участка магистрали используем зависимость потерь давления на трение и местных гидравлических сопротивлений на рассматриваемом участке от расхода с учетом, в общем случае, режима течения жидкости, характеризуемого числом Рейнольдса:

$$\Delta p = f_2(Q, R, Re), \quad (3)$$

где  $R$  – гидравлическое сопротивление.

Характеристики напорно-регулирующих устройств и технологических устройств, осуществляющих выброс или отбор рабочей среды, представляем в виде

$$\Delta p_{p-} = f_3(Q, R). \quad (4)$$

Здесь  $R$  – гидравлическое сопротивление без учета потерь на трение.

В качестве базовых структурных элементов рассматриваем конструктивные узлы и замкнутые контура, которые могут быть выделены в произвольной вентиляционной системе на основании анализа пространственной и технологической структуры. В качестве конструктивного узла принимаем места разветвления и слияния магистралей. Для каждого из них должно соблюдаться уравнение неразрывности

$$Q_n + \sum_{p=1}^{MU} q_{n,p} = 0, \quad (5)$$

где  $Q_n$  – расход рабочей среды, подаваемый нагнетателем или отбираемый (выбрасываемый) из  $n$ -го узла;  $q_{n,p}$  – расход, втекающий или вытекающий из этого узла по участку магистрали, подключенному к этому узлу;  $MU$  – число участков, подключенных к узлу.

Связь полных давлений между двумя соседними узлами при наличии между ними нагнетателей можно представить в виде

$$p_n + \sum_{s=1}^{SV} p_{v,n,n+1}^s = p_{n+1} + \Delta p_{cm,n,n+1} + \sum_{s=1}^{SP} p_{py,n,n+1}^s + \sum_{s=1}^{SK} p_{n,n+1}^s, \quad (6)$$

где  $p_n, p_{n+1}$  – полные давления в узлах;  $\sum p_{v,n,n+1}$  – сумма характеристик источников напора, установленных между узлами;  $\Delta p_{cm,n,n+1}$  – потребный статический перепад давлений между узлами;  $\sum \Delta p_{py,n,n+1}$  –

сумма перепадов давлений на напорно-регулирующих устройствах;  
 $\Sigma \Delta p_{n,n+1}$  – сумма потерь давления на конструктивных участках.

Для каждого  $i$ -го замкнутого контура в системе

$$\sum_{j=1}^{NK} \left[ \left( \sum_{s=1}^{SK} \Delta p^s \right)_{i,j} + \left( \sum_{s=1}^{SP} \Delta p_{py}^s \right)_{i,j} - \left( \sum_{s=1}^{SV} p_v^s \right)_{i,j} \right] = 0, \quad (7)$$

где  $NK$  – число линейный (межузловых) участков, входящих в состав замкнутого контура;  $(\Sigma \Delta p)_{i,j}$ ,  $(\Sigma \Delta p_{py})_{i,j}$ ,  $(\Sigma p_v)_{i,j}$  – соответственно,

суммы потерь давлений на конструктивных участках и на напорно-регулирующих устройствах, сумма характеристик источников напора на  $j$ -м линейном участке.

Выделим в произвольной вентиляционной системе согласно вышеизложенной методике типовые расчетные элементы, конструктивные узлы и замкнутые контуры. В общем случае будем иметь  $KU$  узлов и  $KK$  замкнутых контуров.

Тогда для всей системы можно составить обобщенную математическую модель, в которую войдут:

1.  $KU$  уравнений неразрывности (баланса расходов) в узловых точках

$$Q_n + \sum_{k=1}^{MU} q_{n,k} = 0, \quad n=1, KU. \quad (8)$$

2.  $KK$  уравнений потерь напора в замкнутых контурах системы

$$\sum_{j=1}^{NK} \left[ \left( \sum_{s=1}^{SK} \Delta p^s \right)_{i,j} + \left( \sum_{s=1}^{SP} \Delta p_{py}^s \right)_{i,j} - \left( \sum_{s=1}^{SV} p_v^s \right)_{i,j} \right] = 0, \quad i=1, KK. \quad (9)$$

3.  $KU-1$  уравнений связи напоров в узловых точках

$$p_n + \sum_{s=1}^{SV} p_{v,n,n+1}^s = p_{n+1} + \Delta p_{cm,n,n+1} + \sum_{s=1}^{SP} p_{py,n,n+1}^s + \sum_{s=1}^{SK} p_{n,n+1}^s, \quad n=1, KU-1. \quad (10)$$

С учетом принятых математических моделей типовых расчетных элементов уравнения (8)-(10) можно свести к системе из  $M$  линейных и  $N$  нелинейных уравнений:

$$q_{n,1} + q_{n,2} + \dots + q_{n,k} + \dots + Q_n = 0, \quad n = \overline{1, M}; \quad (11)$$

$$B_{i,1}q_{i,1} + \dots + B_{i,j}q_{i,j} + \dots + C_{i,1}q_{i,1}^2 + \dots + C_{i,j}q_{i,j}^2 + \dots + R_{i,1}q_{i,1}^m + \dots + R_{i,j}q_{i,j}^m + \dots - A_i = 0, \quad i = \overline{1, N}, \quad (12)$$

где  $m$  – показатель степени в характеристике конструктивного участка (принимаемый при турбулентном режиме течения, который является рабочим для реальных систем, равным 2);  $A_i$ ,  $B_{i,j}$ ,  $C_{i,j}$  – постоянные коэффициенты, определяемые суммированием коэффициентов характеристик нагнетателей, а также добавлением статических давлений к коэффициенту  $A_i$  при записи связи между двумя соседними узлами.

Формально обобщенная математическая модель объединяется в систему нелинейных уравнений, которую можно решать известными численными способами.

Таким образом, построены математические модели элементов и устройств вентиляционных систем теплогенерирующих установок, также разработана методика моделирования стационарных режимов их работы.

1. Андрийчук Н.Д. Эффективность централизованного теплоснабжения малой мощности. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2002. – 24 с.

2. Андрийчук Н.Д. Повышение технологической эффективности элементов систем теплоснабжения. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2002. – 104 с.

3. Андрийчук Н.Д. Повышение технологической эффективности структурно-схемных решений по сетям централизованного теплоснабжения малой мощности // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.47. – К.: Техніка, 2003. – С.189-191.

4. Андрийчук Н.Д., Савельев А.В. Пути повышения эффективности централизованного теплоснабжения малой мощности // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.47. – К.: Техніка, 2003. – С.172-175.

Получено 03.10.2003

УДК 628.46/47 (035.5)

А.М.КАСИМОВ, д-р техн. наук, В.С.ЗАЛИЗНЫЙ

Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем, г.Харьков

И.Э.ЛИННИК, канд. техн. наук

Харьковская государственная академия городского хозяйства

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ТВЕРДЫМИ ОТХОДАМИ В ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассматривается состояние санитарной очистки в Харькове, малых городах и сельских населенных пунктах Харьковской области. Предлагаются направления ускорения реформирования и основные мероприятия по реализации этих направлений в сфере санитарной очистки.

Экономика Украины характеризуется большими объемами обра-